

PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS PADA KENTANG SELAMA PROSES PEMASAKAN

Winarto¹, Budi Raharjo² dan Suhargo²

¹Politeknik Pertanian Negeri Bandar Lampung,
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro 1, Gedungmeneng, Lampung
²Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
Bulak Sumur, Yogyakarta

ABSTRAK

PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA PERPINDAHAN PANAS PADA KENTANG SELAMA PROSES PEMASAKAN. Produk/bahan pertanian tidak semuanya dapat langsung dikonsumsi, oleh karena itu agar produk tersebut dapat dikonsumsi, maka perlu perlakuan pemasakan. Teknologi pemasakan melibatkan pengetahuan perpindahan panas dan perubahan fisikawi dan kimiawi produk/bahan akibat pemanasan. Pada pemanasan produk/bahan pangan sering dijumpai masalah yang berkaitan dengan pengontrolan suhu dalam menghasilkan keluaran yang optimal. Faktor yang paling penting dalam pengolahan bahan makanan adalah kenaikan suhu yang dikenakan pada bahan dan lamanya proses pemanasan. Lama pemanasan dan suhu pemanasan akan merubah sifat bahan dari mentah menjadi matang, dimana untuk perubahan tersebut diperlukan sejumlah panas yang besarnya berbeda-beda tergantung dari produknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika perpindahan panas pada produk pertanian berbentuk bola pejal selama proses pemasakan tanpa mempertimbangkan panas/energi yang diperlukan untuk merubah sifat fisik dan kimiawi bahan, serta menguji validitas dan kepekaan model. Bahan yang digunakan kentang, diasumsikan berbentuk bola, perambatan panas hanya terjadi pada arah radial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh perpindahan panas konveksi pada permukaan lebih besar daripada pengaruh perpindahan panas konduksi dalam bahan. Laju perubahan suhu bahan dipengaruhi oleh suhu media. Dari uji validitas model diperoleh hasil bahwa model perambatan panas konduksi satu dimensi dengan kondisi batas konveksi dan salah satu sisinya diisolasi, serta suhu awal konstan, dapat memprediksi dengan baik distribusi suhu pada berbagai posisi dalam kentang. Sedangkan dari uji kepekaan model, variabel masukan yang peka terhadap perubahan suhu bahan secara berurutan adalah suhu media pemasak, diameter bahan, dan suhu awal bahan.

Kata kunci : model matematika, perpindahan panas, proses pemasakan, kentang, bola pejal

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF HEAT TRANSFER IN POTATO DURING BOILING PROCESS. Not all of agriculture product could be consumed directly; therefore, the boiling process is needed prior to the consumption. The boiling technology involves knowledge of heat transfer and physically and chemically. changes of product/material due to the heating. In boiling of food product/material, problems related to temperature control in obtaining optimum output could be occurred. The most important factor in food product processing is the temperature increasing applied to the material and heating process period. The heating period and heater temperature will change the material properties from raw to be cooked; whereby, for these changes, some amount of heat is needed, which has different quantity depend on the product. The purpose of this research is to develop mathematical model of heat transfer on agriculture product having shape of rigid ball during boiling process without any consideration of heat/energy needed to change the physically and chemically of the model. The material used was potato, assumed to be as ball, and the heat propagation only in radial direction. The result of the research showed that the influence of convection heat transfer on the surface is larger than the influence of conduction heat transfer inside the material. The changing rate of material temperature was affected by media temperature. From the validity examination of the model, the result showed that the model for one dimensional conduction heat propagation with convection limit condition and one of its side was isolated, and also constant starting temperature, could predict well the temperature distribution at any position inside the potato. Whereas, from the sensitivity examination of the model, the input variable sensitive to the temperature changing of the material are boiling media temperature, the diameter of the material, and starting material temperature, respectively.

Key words : mathematical model, heat transfer, boiling process, potato, rigid ball

PENDAHULUAN

Produk/bahan pertanian tidak semuanya dapat langsung dikonsumsi, oleh karena itu agar produk tersebut dapat dikonsumsi, maka perlu perlakuan pemasakan. Pada proses ini bahan dikenakan perlakuan panas yang dapat dilakukan dengan cara konveksi udara panas (*roasting, baking*), mencelupkan bahan/produk ke dalam air panas (*boiling*), atau ke dalam minyak panas (*deep fat frying*), radiasi infra merah (*broiling*), maupun radiasi gelombang mikro [1].

Teknologi pemasakan melibatkan pengetahuan perpindahan panas dan perubahan fisik dan kimia produk/bahan akibat pemanasan. Pada pemanasan produk/bahan pangan sering dijumpai masalah yang berkaitan dengan pengontrolan suhu dalam menghasilkan keluaran yang optimal. Faktor yang paling penting dalam pengolahan bahan makanan adalah kenaikan suhu yang dikenakan pada bahan dan lamanya proses pemanasan. Lama pemanasan dan suhu pemanas akan mengubah sifat bahan dari segar menjadi masak, dimana untuk perubahan tersebut diperlukan sejumlah panas yang besarnya berbeda-beda tergantung dari produknya.

Untuk produk/bahan pertanian yang mengandung sejumlah air dan pati di dalamnya, bila dipanaskan pada suhu dan waktu tertentu akan terjadi peristiwa gelatinisasi. Pada proses gelatinisasi terjadi pemutusan ikatan hidrogen dan pengembangan granula pati [2]. Gelatinisasi merupakan tahap awal perubahan sifat fisik dan kimia pati. Bila kentang mengalami perlakuan panas akan terjadi gelatinisasi dan perubahan tekstur secara bersamaan [3]. Gelatinisasi beberapa jenis pati tampak bahwa untuk terjadinya gelatinisasi pati tersebut diperlukan sejumlah panas, diantaranya untuk pati kentang sebesar 4,4 kal/gram [4, 5].

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pemodelan yang berkaitan dengan perpindahan panas pada produk/bahan pertanian yang mengandung pati berbentuk bola pejal tanpa mempertimbangkan panas yang diperlukan untuk mengubah sifat fisik dan kimia produk tersebut selama pemasakan.

Tujuan penelitian untuk mengkaji perubahan suhu bahan selama pemasakan dengan mempertimbangkan panas/energi yang diperlukan untuk mengubah sifat fisik dan kimiawi bahan dari mentah menjadi matang menggunakan model matematika yang didasarkan pada proses perpindahan panas.

Adapun tujuan khusus adalah mengembangkan model matematika perpindahan panas pada produk pertanian yang mengandung pati berbentuk bola pejal tanpa mempertimbangkan panas yang diperlukan untuk perubahan fisik dan kimiawi produk.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan Model

Persamaan diferensial panas konduksi untuk bahan padat homogen, isotropik dengan pembangkitan panas dari dalam bahan dituliskan [6]:

$$\nabla [k \nabla T(r, t)] + q'''(r, t) = \rho C_p \frac{\partial T(r, t)}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

Bila konduktivitas panas diasumsikan konstan (tidak gayut terhadap posisi dan suhu), maka persamaan di atas menjadi

$$\nabla^2 T(r, t) + \frac{1}{k} q'''(r, t) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(r, t)}{\partial t} \dots \dots \dots (2)$$

di mana :

$$\text{difusivitas panas} = \alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Oleh karena bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kentang, dimana *sphericity*-nya 82,54% [7], maka bahan tersebut dapat dianggap mendekati bentuk bola, sehingga persamaan 2 bila dituliskan dalam sistem koordinat bola (r,θ,ϕ) menjadi :

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(k r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (k \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta}) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} (k \frac{\partial T}{\partial \phi}) + q''' = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta}) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{q'''}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \dots \dots \dots (3)$$

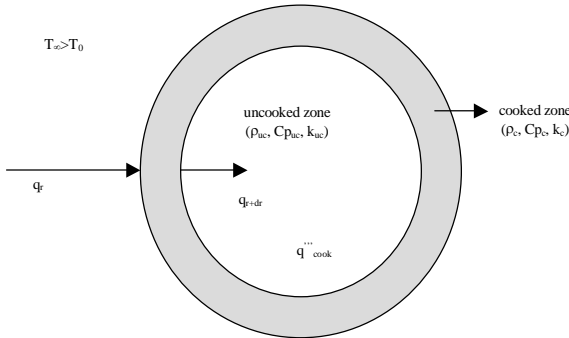
Apabila perpindahan panas bola hanya terjadi arah radial (1 dimensi), maka persamaan 3 menjadi :

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{q'''}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan 4 merupakan persamaan diferensial parsial berderajat dua, maka untuk menyelesaikan persamaan tersebut di atas, diperlukan dua kondisi batas dan kondisi awal bahan.

Perpindahan panas pada pemasakan produk pertanian/kentang dengan cara direbus maupun oven dimana bahan dalam keadaan tercelup/masuk dalam media pemasak secara keseluruhan merupakan gabungan perpindahan panas konveksi dan konduksi, sehingga proses pemasakan/perubahan dari bahan segar menjadi masak terjadi pada seluruh permukaan bahan secara bersamaan ke arah pusat geometris/arah radial, sedangkan arah polar dan azimuth dapat diabaikan. Perpindahan panas secara konveksi akan terjadi di permukaan bahan yang selanjutnya diimbangi dengan perpindahan panas konduksi tak tunak dalam bahan, dan perubahan kondisi fisik dan kimia bahan dari segar menjadi masak/matang yang dimulai saat suhu bahan sama dengan suhu gelatinisasi.

Oleh karena suhu udara lingkungan tidak banyak berubah, maka sifat fisik dan termal bahan awal dianggap konstan, sedangkan sifat fisik dan termal bahan setelah gelatinisasi/masak hingga akhir proses pemasakan dianggap homogen.



Gambar 1. Model fisik perpindahan panas pada kentang (1 dimensi) selama proses pemasakan

Pemanasan dimulai dari bagian luar bahan dan proses gelatinisasi/ pemasakan yang terjadi diasumsikan berlapis-lapis dari permukaan ke arah pusat geometris seiring dengan perubahan waktu proses (Gambar 1), sehingga untuk menyederhanakan masalah dalam penyusunan persamaan matematika dengan asumsi bahan berbentuk bola pejal; perpindahan panas hanya terjadi arah radial (1dimensi); sifat fisik/termal bahan tidak tergelatinisasi = konstan, untuk bahan tersebut; sifat fisik/termal bahan tergelatinisasi = konstan untuk bahan tersebut; tidak terjadi perpindahan massa; tidak terjadi penyusutan maupun pengembangan volume bahan; suhu awal bahan seragam; suhu lingkungan konstan; suhu gelatinisasi kentang ($T_{gel} = T_{cook}$) = 59,5°C, dan besarnya panas laten untuk pemasakan ≈ 0 ;

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas maka persamaan 4 menjadi :

a) Pada saat $T_{bahan} < T_{gel}$ (suhu pemasakan),

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{\alpha_{UC}} \frac{\partial T}{\partial t} \dots\dots\dots(5)$$

untuk menyelesaikan persamaan 5 diatas diperlukan 2 kondisi batas dan kondisi awal, yaitu :

Kondisi batas :

$$BC-1 : -k \frac{\partial T}{\partial r} = h(T_s(t) - T_\infty) \quad \text{pada } r = R, t > 0 \dots\dots\dots(6)$$

$$BC-2 : \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad \text{pada } r = 0, t > 0 \dots\dots\dots(7)$$

Kondisi awal :

$$IC : T(r,0) = T_0 \dots\dots\dots(8)$$

di mana nilai α pada saat $T_{bahan} < T_{gel}$ digunakan α bahan segar.

b) Pada saat $T_{bahan} \geq T_{gel}$ (suhu pemasakan),

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \dots\dots\dots(9)$$

untuk menyelesaikan persamaan 9 diatas diperlukan 2 kondisi batas dan kondisi awal, yaitu :

Kondisi batas :

$$BC-1 : -k \frac{\partial T}{\partial r} = h(T_s(t) - T_\infty) \quad \text{pada } r = R, t > 0 \dots\dots\dots(10)$$

$$BC-2 : \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad \text{pada } r = 0, t > 0 \dots\dots\dots(11)$$

Kondisi awal :

$$IC : T(r,0) = T_{gel} \dots\dots\dots(12)$$

di mana nilai α pada saat $T_{bahan} = T_{gel}$ (suhu pemasakan) digunakan α bahan masak/matang.

Persamaan 5 sampai dengan persamaan 12 diselesaikan dengan cara analitik Apachi [8] sebagai berikut :

$$\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin M_n - M_n \cos M_n}{M_n - \sin M_n \cos M_n} \exp \left[\frac{-M_n^2 \alpha t}{R^2} \right] \frac{\sin \left(\frac{M_n r}{R} \right)}{M_n \frac{r}{R}} \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{di mana } : 1 - M_n \cot M_n = \frac{hR}{k} \dots\dots\dots(14)$$

Untuk pusat bahan ($r=0$), penyelesaian di atas menjadi :

$$\frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin M_n - M_n \cos M_n}{M_n - \sin M_n \cos M_n} \exp \left[\frac{-M_n^2 \alpha t}{R^2} \right] \dots\dots\dots(15)$$

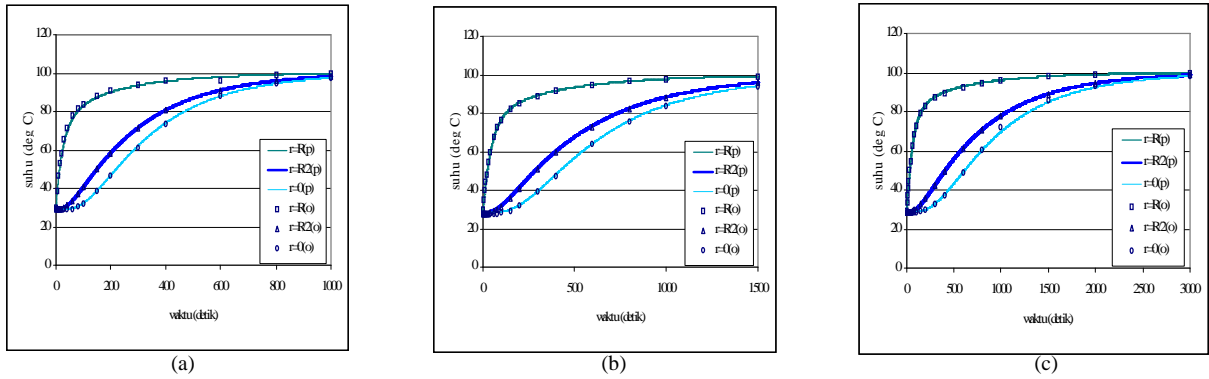
METODOLOGI

Termokopel dan pengutip data, personal komputer, oven listrik, *waterbath*, *Differential Scanning Calorimetry*, *stopwatch*, kaliper, timbangan analitis, gelas ukur dan termometer air raksa.

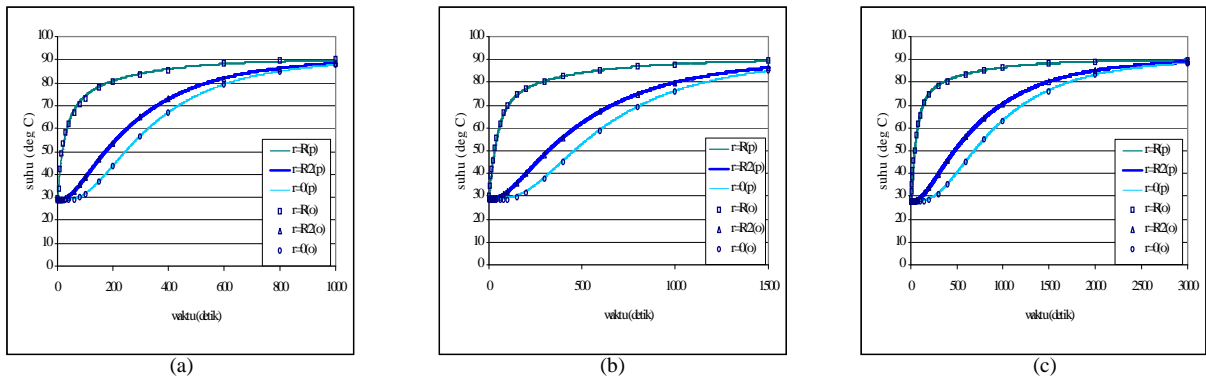
Produk pertanian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kentang yang diasumsikan berbentuk bola pejal, berasal dari Dieng, Wonosobo, Jawa Tengah.

Analisis data dilakukan untuk mengetahui keberhasilan penyusunan model matematika prediksi suhu selama pemasakan, dilakukan dengan uji validitas dan uji kepekaan model.

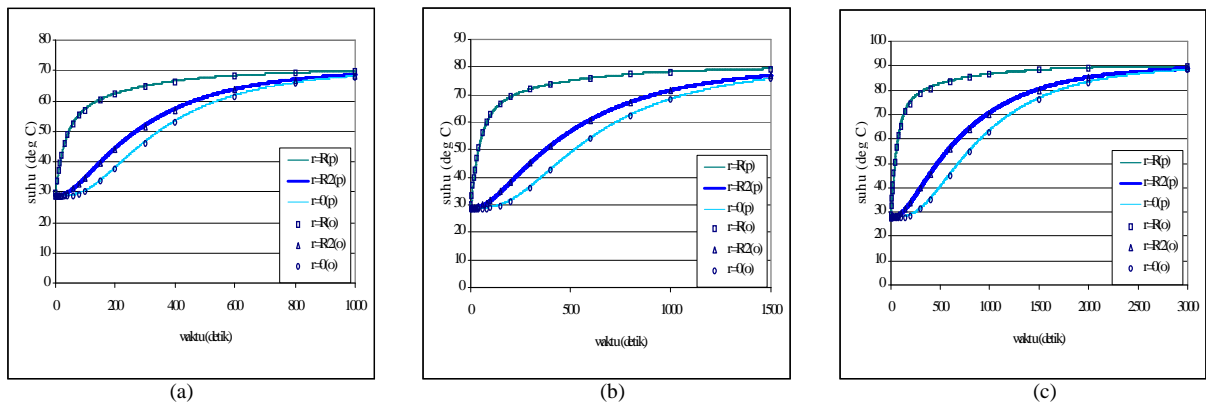
Uji ini dilakukan untuk mengetahui keandalan model matematika dengan cara membandingkan distribusi suhu prediksi dan observasi selama pemasakan pada berbagai posisi. Analisis untuk uji validitas dilakukan secara grafis dan statistik. Analisis grafis dilakukan untuk mengetahui sebaran data hasil prediksi dan observasi terhadap garis $Y=X$. Analisis statistik dilakukan untuk



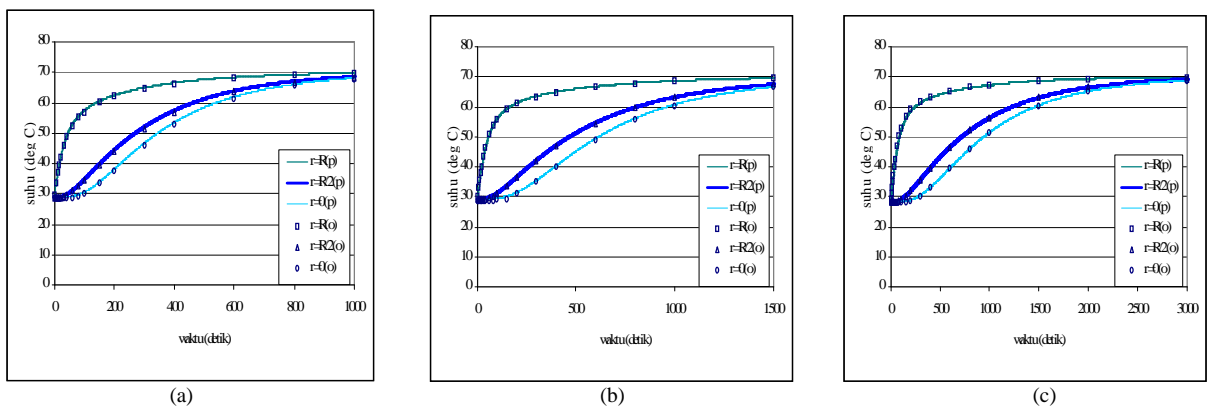
Gambar 2. Distribusi suhu observasi dan prediksi selama pemasakan dengan suhu air 100°C diameter bahan (a) 33mm, (b) 46,11 mm, dan (c) 56,75 mm



Gambar 3. Distribusi suhu observasi dan prediksi selama pemasakan dengan suhu air 90°C diameter bahan (a) 33mm, (b) 46,11 mm, dan (c) 56,75 mm



Gambar 4. Distribusi suhu observasi dan prediksi selama pemasakan dengan suhu air 80°C diameter bahan (a) 33mm, (b) 46,11 mm, dan (c) 56,75 mm



Gambar 5. Distribusi suhu observasi dan prediksi selama pemasakan dengan suhu air 70°C diameter bahan (a) 33mm, (b) 46,11 mm, dan (c) 56,75 mm

menguji linieritas hubungan antara suhu bahan prediksi dan observasi dengan metode analisis variansi dan uji sebaran F pada selang kepercayaan 95%.

Kepekaan model diuji dengan mempelajari pengaruh perubahan variabel masukan terhadap variabel keluaran. Besar kecilnya pengaruh perubahan variabel tersebut digunakan untuk menilai batasan berlakunya model. Variabel masukan yang diubah adalah diameter bahan, suhu media, suhu awal bahan dan media pemasakan yang berbeda selama proses pemasakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Suhu Bahan Selama Pemasakan

Percobaan dilakukan dalam media pemasak berupa air panas (*boiling*) dan udara panas (*baking*) dengan suhu media 70°, 80°, 90° dan 100°C pada tiga macam diameter bahan masing-masing 33 mm, 46,11 mm, dan 56,75 mm.

Distribusi suhu dalam bahan digambarkan sebagai hubungan antara waktu dengan suhu pada tiap posisi dalam bahan untuk setiap perlakuan. Gambar 2 sampai dengan Gambar 5 menunjukkan distribusi suhu observasi pada berbagai posisi dalam bahan selama waktu pemasakan menggunakan media air panas (*boiling*) yang digambarkan dengan simbol.

Berdasarkan penggambaran hasil pengutipan/pencuplikan data suhu yang dilakukan untuk tiap perlakuan (Gambar 2 sampai dengan Gambar 5) tampak bahwa suhu permukaan bahan naik lebih cepat daripada posisi $r=0,5R$ dan pusat bahan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh perpindahan panas konveksi pada permukaan lebih besar dibandingkan pengaruh perpindahan panas konduksi.

Pengaruh kondisi suhu lingkungan bahan yang berbeda akan memberikan laju perubahan suhu yang berbeda pula; semakin tinggi suhu media pemasakan menyebabkan laju perubahan suhu yang semakin besar pula. Perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 5. Hal tersebut cukup beralasan karena perbedaan suhu di dalam dan di luar bahan yang semakin besar menyebabkan laju perpindahan panas konveksinya semakin besar.

Distribusi Suhu Prediksi Selama Pemasakan

Data prediksi suhu dalam penelitian ini diperoleh dari simulasi dengan menggunakan model matematika pada persamaan 5 sampai dengan persamaan 12. Dengan memasukkan nilai suhu media, suhu awal bahan, sifat fisik dan termis bahan koefisien konveksi media pemasak dihasilkan data prediksi penyebaran suhu pada berbagai posisi selama pemasakan. Hasil prediksi suhu bahan selama pemasakan pada masing-masing posisi untuk setiap perlakuan disajikan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 5 yang digambarkan dengan garis.

Berdasarkan penggambaran distribusi suhu hasil simulasi pada berbagai posisi dalam bahan selama pemasakan menggunakan model matematika persamaan 5 sampai dengan persamaan 12, tampak bahwa distribusi suhu prediksi mempunyai kecenderungan suhu makin meningkat mendekati suhu media pemasak dengan laju perubahan suhu yang menurun seiring dengan bertambahnya waktu pemasakan.

Fenomena di atas menunjukkan adanya perpindahan panas secara konveksi dipermukaan bahan karena perbedaan suhu bahan dengan suhu media pemasak yang selanjutnya diimbangi dengan perpindahan panas konduksi tak tunak dalam bahan. Akibatnya bahan pada bagian permukaan mengadakan

Tabel 1. Analisis variansi dan uji sebaran F

Media Pemasakan	Suhu Media Pemasakan (°C)	Diameter Bahan (mm)	Titik Pengamatan	F Hitung
Air	100	33	r/R=1	14999.18
			r/R=0,5	885673.07
			r/R=0	107445.21
		46,11	r/R=1	109607.84
			r/R=0,5	898311.80
			r/R=0	1029455.68
		56,75	r/R=1	9798.19
			r/R=0,5	94671.90
			r/R=0	37910.83
	90	33	r/R=1	5023.41
			r/R=0,5	939321.42
			r/R=0	1776365.32
		46,11	r/R=1	365800.60
			r/R=0,5	742672.68
			r/R=0	1909494.92
		56,75	r/R=1	19594.80
			r/R=0,5	157492.68
			r/R=0	194604.74
	80	33	r/R=1	6706.19
			r/R=0,5	279096.83
			r/R=0	2102657.50
		46,11	r/R=1	302671.88
			r/R=0,5	2032123.09
			r/R=0	1524708.13
56,75		r/R=1	3685.18	
		r/R=0,5	316212.99	
		r/R=0	384044.36	
70	33	r/R=1	41784.57	
		r/R=0,5	239410.00	
		r/R=0	52619.28	
	46,11	r/R=1	12233142.2	
		r/R=0,5	622031.22	
		r/R=0	115736.72	
	56,75	r/R=1	392792.27	
		r/R=0,5	7469.69	
		r/R=0	3334712.81	

keseimbangan suhu dengan media pemasak, sehingga pada awal pemasakan laju perubahan suhu pada permukaan berjalan lebih cepat daripada posisi $r=0,5R$ maupun pusat bahan.

Pada penggambaran distribusi suhu hasil pemodelan untuk tiap perlakuan cenderung sama dengan hasil observasi pada saat sebelum dimulainya gelatinisasi, maupun setelah terjadinya gelatinisasi/pemasakan. Dari penggambaran pengutipan data suhu observasi maupun model tidak tampak adanya panas laten untuk proses gelatinisasi tersebut, sedangkan dari termogram DSC pati kentang tampak adanya penyerapan panas untuk gelatinisasi. Penyimpangan ini kemungkinan terjadi karena kandungan pati dalam kentang rendah, dan panas yang masuk dalam kentang selama pemasakan lebih besar daripada panas yang dibutuhkan untuk proses gelatinisasi tersebut, sehingga proses gelatinisasi untuk tiap titik pengamatan tidak tampak.

Uji Validitas

Uji validitas dengan analisis variansi dan uji sebaran F dilakukan untuk mengetahui linieritas hubungan suhu prediksi dan observasi. Adapun uji hipotesis $H_0 : \beta = 0$ dan $H_1 : \beta \neq 0$ dilakukan pada tingkat signifikansi 5%. Bila F-hitung lebih besar dari F-tabel, maka H_0 ditolak, yang berarti ada hubungan linier antara suhu prediksi dan observasi. Hasil analisis variansi dan uji sebaran F disajikan pada Tabel 1.

Keseluruhan nilai F-hitung dari Tabel 1 mempunyai harga yang lebih besar dari F-tabel, sehingga H_0 ditolak. Hal ini memberikan arti ada hubungan linier antara suhu prediksi dengan observasi, sehingga dinyatakan model matematika tersebut cukup valid.

Berdasarkan uji validitas secara grafis dan statistik dapat dinyatakan bahwa model matematika tersusun dapat digunakan untuk memprediksi perubahan suhu kentang pada berbagai posisi selama pemasakan.

Uji Kepekaan Model Matematika

Model matematika tersusun diuji kepekaannya dengan mengubah masukan suhu media pemasak, diameter bahan, suhu awal bahan, dan media yang berbeda; sedangkan variabel keluaran berupa perubahan suhu bahan selama proses pemasakan 400 detik, 600 detik, dan 800 detik. Hasil uji kepekaan disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan uji kepekaan model dapat dianalisis pengaruh variabel masukan terhadap variabel keluaran secara kuantitatif sebagai berikut :

Suhu Media Pemasak (T_∞)

Hasil uji kepekaan model pada Tabel 2 menunjukkan perubahan suhu media pemasak (T_∞) antara 10-20°C memberikan perubahan suhu bahan selama pemasakan 800 detik sebesar 9,92°C-19,84°C (Tabel 2). Persentase perubahan tersebut berkisar antara 14,2%-28,57%, sehingga dapat dikatakan kondisi suhu

Tabel 2. Uji kepekaan model matematika perubahan suhu bahan selama proses pemasakan

No	Variabel Masukan			Variabel Keluaran		
	T-media	diameter	T-awal	Perubahan suhu selama pemasakan		
				400 detik	600 detik	800 detik
1.	70	30	25	67.71	69.10	69.66
	80	30	25	77.20	78.90	79.58
	90	30	25	86.69	88.69	89.50
2.	80	50	25	74.59	76.44	77.58
	80	40	25	75.54	77.48	78.56
	80	30	25	77.2	78.90	79.58
3.	80	30	20	76.94	78.79	79.54
	80	30	30	77.46	79.00	79.62
	80	30	40	77.98	79.21	79.71

media pemasakan sangat peka terhadap perubahan suhu bahan selama pemasakan.

Diameter Bahan (d)

Dari uji kepekaan model yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan perubahan diameter bahan antara 10 mm-20 mm memberikan perubahan suhu bahan sebesar 0,98°C-2°C (2), atau berkisar antara 1,26%-2,56%; sehingga dapat diartikan diameter bahan cukup peka terhadap perubahan suhu bahan selama proses pemasakan.

Suhu Awal Bahan (T_0)

Berdasarkan Tabel 2 tampak bahwa perubahan suhu awal bahan antara 10°C-20°C menyebabkan perubahan suhu bahan selama pemasakan sebesar 0,08°C-0,17°C (Tabel 2). Angka tersebut menunjukkan perubahan persentase antara 0,1%-0,2%, yang berarti suhu awal bahan cukup peka terhadap perubahan suhu bahan selama pemasakan.

Berdasarkan hasil uji kepekaan tersebut di atas dapat dirangkum bahwa urutan kepekaan model yang didasarkan pada persentase perubahan suhu bahan selama proses pemasakan adalah suhu media pemasak (T_∞), diameter bahan (d), dan suhu awal bahan (T_0).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan model matematika, uji validitas, dan uji kepekaan model dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan suhu selama proses pemasakan pada setiap titik pengamatan berbeda karena selama pemasakan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari media dan diimbangi dengan perpindahan panas konduksi di dalam bahan, dimana pengaruh perpindahan panas konveksi pada permukaan lebih besar daripada pengaruh perpindahan panas konduksi.
2. Laju perubahan suhu bahan dipengaruhi oleh suhu media; semakin tinggi suhu media pemasaknya, maka

- semakin besar laju perubahan suhu bahannya.
3. Model I dan II dapat digunakan untuk menduga perubahan suhu bahan selama proses pemasakan dengan baik, hal ini dibuktikan dengan hasil uji validitas model.
 4. Model matematika II cenderung lebih baik dari model I bila digunakan untuk menduga perubahan suhu kentang selama proses pemasakan.
 5. Hasil uji kepekaan kedua model menunjukkan variabel masukan yang peka terhadap perubahan suhu bahan secara berurutan adalah suhu media, diameter bahan, dan suhu awal bahan.

Saran

1. Model matematika tersusun perlu diuji pada komoditi pertanian yang lain dengan kandungan pati yang bervariasi dan pada berbagai cara pemasakan.
2. Dalam penelitian diasumsikan tidak ada perpindahan massa, sehingga difusi cairan diabaikan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengasumsikan adanya perpindahan massa ke dalam maupun keluar bahan sesuai dengan media pemasak yang digunakan.

DAFTARACUAN

- [1]. MATZ, SAMUEL A., *Food Texture*. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut, (1962)
- [2]. SMITH, P.S., *Starch Derivates and Their Use in Food dalam Lineback dan Inglett* (ed): Food Carbohydrates. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, (1982)
- [3]. VERLINDEN, BERT E., BART M. NICOLAI, and JOSSE DE BAERDEMAEKER, The Starch Gelatinization in Potatoes during Cooking in Relation to the Modelling of Texture Kinetics. *Journal of Food Engineering*, **24**, (1994) 165-179.
- [4]. BILIADERIS, C.G, T.J. MAURICE, and J.R. VOSE. Starch Gelatinization Phenomena Studied by Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Food Science* **45** (1980)1669-1674.
- [5]. KUGIMIYA, M., and JOHN W. DONOVAN, Calorimetric Determination of the Amylose Content of Starches Based on Formation and Melting of the Amylose-Lysolecithin Complex. *Journal of Food Science* **46**, (1981) 765-770.
- [6]. OZISIK, M. NECATI., *Heat Conduction*, John Wiley & Sons, New York, (1980)
- [7]. MOHSENIN, N.N., *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, (1970).
- [8]. MOHSENIN, N.N., *Thermal Properties of Food and Agricultural Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, (1980)
- [9]. CARSLAW, H.S., and J.C. JAEGER. *Conduction of Heat in Solid*. Claredon Press, Oxford, New York, (1959).
- [10]. ZOBEL, F.Z., *Starch: Structure, Analysis and Application dalam Allstair* (ed): Food Polysaccharides and Their Applications. Marcel Dekker Inc. New York, (1995)

TANYA JAWAB

Yulidar, P3TIR-BATAN

Pertanyaan

1. Apakah dapat diaplikasikan untuk materi lain selain kentang

Jawaban

1. Dapat diaplikasikan pada bahan dan media pemasakan yang berbeda dengan mengubah nilai difusivitas termal bahan (α) dan batas suhu terjadinya perubahan fisika dan kimiawi bahan sebagai data masukan pada model